



Statistiske metoder bør benyttes ved beregning af ekstremlaster

Thomsen, K.

Publication date:
1997

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Thomsen, K. (1997). *Statistiske metoder bør benyttes ved beregning af ekstremlaster*. Resultatblad AED-RB No. 4

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

STATISTISKE METODER BØR BENYTTES VED BEREGNING AF EKSTREMLASTER

af

Kenneth Thomsen



Aeroelastisk Design
Afdelingen for Vindenergi og Atmosfærefysik
Forskningscenter Risø, Roskilde
Marts 1997

Titel og forfatter(e)

Statistiske metoder bør benyttes ved beregning af ekstremlaster

Kenneth Thomsen

Review

Flemming Rasmussen og Gunner Larsen

Program og afdeling

Aeroelastisk Design

Afdelingen for Vindenergi og Atmosfærefysik

Dato

3. Marts 1997

Registreringsnummer

AED-RB-4

Projekt/Kontrakt

ENS 1363/95-0001

Klassifikation

Offentlig

Bemærkninger

Arbejdet er udført under delprojektet *Reduktion af ekstremlaster* under EFP-95 *Vingedesign*. Under delprojektet arbejdes der videre med at udvide metoden til driftssituationer.

Resumé

Til beregning af ekstreme stilstandslaster for vindmøller foreslås det at kombinere aeroelastiske tidssimuleringer med statistiske metoder. Benyttes aeroelastisk tidssimulering alene vil den stokastiske natur af turbulensfeltet betyde en stor variation af simulerede ekstremlaster fra én simulering til en anden. Denne variation kan reduceres betragteligt, hvis statistiske metoder anvendes.

Kan rekvireres fra:

Afdelingen for Vindenergi og Atmosfærefysik, Forskningscenter Risø

P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde

Telefon 46 77 50 36 · Fax 42 37 29 65

Dette er et resultatblad fra forskningsprogrammet Aeroelastisk Design ved Afdelingen for Vindenergi og Atmosfærefysik, Forskningscenter Risø. Resultatbladets målgruppe er primært den danske vindmølleindustri og dansk vindmølleforskning i øvrigt. Formålet er at formidle opnåede forskningsresultater på en kort og letfordøjelig form, samt at kunne publicere opnåede resultater så tidligt som muligt. Resultaterne kan være foreløbige erkendelser eller sammendrag af udgivne publikationer. Såfremt rapporteringen er foreløbig, vil det fremgå af teksten. Anden og eventuelt senere planlagt rapportering vil fremgå af databladet og evt. litteraturlisten.

Indledning

Til beregning af ekstreme laster for vindmøller under stilstand benyttes to forskellige metoder i industrien. Den ene metode er en statistisk metode oprindeligt udviklet af Davenport [1] for bygningskonstruktioner og tilpasset vindmøllekonstruktioner af Madsen [4]. Denne metode er angivet i Anneks B i den danske vindmøllenorm [3]. Den anden metode er baseret på en aeroelastisk tidssimulering ved ekstreme vindforhold.

Begge metoder har fordele og ulemper. Aerodynamikken og strukturdynamikken er simpelt modelleret i den statistiske metode, mens de estimerede ekstremværdier er statistisk relativt sikre. I en aeroelastisk tidssimulering benyttes avancerede modeller for aerodynamikken og strukturdynamikken. Til gengæld er der stor variation i simulerede ekstremlaste - primært på grund af turbulensgenereringen. Som input til en aeroelastisk tidssimulering genereres et stokastisk turbulensfelt, som indeholder vindhastigheden til et bestemt tidspunkt og et bestemt punkt på rotorskiven. Ved genereringen af dette turbulensfelt initieres "tilfældigheden" med en seed-parameter, som i princippet kan vælges vilkårligt. Dermed opnås en tilfældig tidshistorie af turbulensen og alt efter sammenhængen imellem denne tidshistorie og en vindmølles aktuelle svingningstilstand kan en simuleret ekstremlast variere fra én simulering til en anden.

Der foreslås her en metode hvor få parametre fra en aeroelastisk tidssimulering benyttes som input i en ekstremværdianalyse. Derved kombineres den avancerede aerodynamik- og strukturdynamikmodel fra en aeroelastisk tidssimulering med en relativt præcis fastlæggelse af ekstremlasten fra ekstremværdianalysen.

Forslag til metode

Ved bestemmelse af ekstreme laster på en stillestående vindmølle kan følgende udtryk benyttes, [2]:

$$\mu_{max} = \bar{\mu} + k_p \sigma_\mu \quad (1)$$

hvor μ_{max} er den karakteristiske ekstremlast, her middelværdien af ekstremlasten. I nogle tilfælde er man interesseret i en karakteristisk ekstremlast svarende til en bestemt fraktil af sandsynlighedsfunktionen og et tilsvarende udtryk kan opstilles. $\bar{\mu}$ er middelværdien af lasten, σ_μ er standardafvigelsen af lasten og k_p er peakfaktoren. Denne peakfaktor kan bestemmes fra nulkrydsningsfrekvensen ν og længden af den betragtede tidsperiode ΔT (f.eks. 300 sekunder):

$$k_p = \sqrt{2 \ln(\Delta T \nu)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(\Delta T \nu)}} \quad (2)$$

Nulkrydsningsfrekvensen er et mål for den frekvens i responsspektret, hvor mest energi er koncentreret. Den kan bestemmes på følgende måde:

$$\nu = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \quad (3)$$

hvor m_2 og m_0 er spektrale momenter bestemt fra responsets enkeltsidede powerspektrum $S(f)$:

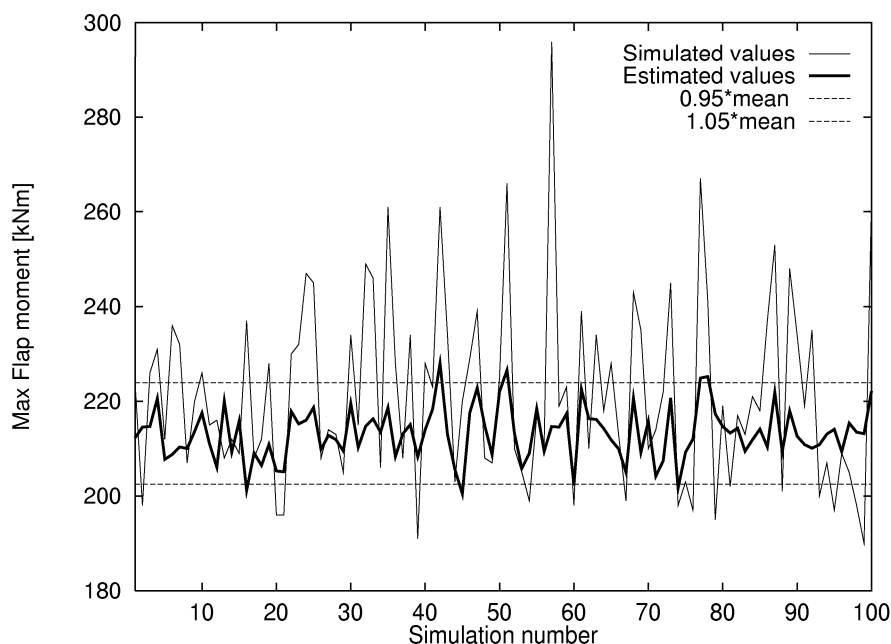
$$m_r = \int_0^\infty f^r S(f) df \quad (4)$$

Med en aeroelastisk tidssimulering ved ekstremvindhastigheden kan middelværdien $\bar{\mu}$ og standardafvigelsen σ_μ af en last bestemmes med god nøjagtighed. Beregnes derudover et powerspektrum $S(f)$ af lasten kan nulkrydsningsfrekvensen ν og dermed peakfaktoren k_p af lasten fastlægges. Herefter kan det maksimale lastrespons for den pågældende tidsperiode ΔT fastlægges fra (1).

Sammenligning med ekstremværdier fra aeroelastisk simulering

For at sammenligne ekstremværdier beregnet med udtrykkene (1)-(4) er der foretaget 100 simuleringer med den aeroelastiske model HawC. Der er regnet på en stillestående 500 kW stallreguleret mølle med det ene blad lodret op. Vindhastigheden er 28 m/s, turbulensintensiteten er 0.15 og længden af hver simulering er 300 sekunder. Den eneste forskel imellem de 100 simuleringer er turbulensens initieringsparameter, seed-parameteren, som er valgt tilfældigt for hver simulering. Turbulensen er genereret ved hjælp af Mann's model.

I Figur 1 er de simulerede maksimalværdier for flapvis bladrodsmoment sammenlignet med estimerede værdier fra (1)-(4). Det ses, at variationen i de simulerede værdier er betydeligt større end variationen i de estimerede værdier. Standardafvigelsen af de simulerede ekstremværdier er 19.6 kNm og standardafvigelsen af de estimerede værdier er 5.6 kNm. Middelværdien af de simulerede værdier er 221.3 kNm, mens middelværdien af de estimerede værdier er 213.2 kNm.



Figur 1: Simulerede ekstremværdier for 100 simuleringer sammenlignet med estimerede ekstremværdier for samme simuleringer. For de estimerede ekstremværdier er størrelsen af 5% intervallet omkring middelværdien angivet

I figuren er $\pm 5\%$ båndet omkring middelværdien af de estimerede værdier optegnet. Dette svarer næsten til samme bånd omkring den lidt større middelværdi af de simulerede værdier. Adskillige gange optræder en simuleringens værdi som ligger udenfor dette bånd, mens næsten samtlige estimerede værdier ligger indenfor $\pm 5\%$ båndet.

For at opnå samme sikkerhed fra de simulerede værdier som fra de estimerede værdier skal der foretages ca. 12 simuleringer. Det vil sige, at fordelene ved at benytte (1) svarer til en reduktion af antallet af beregninger på mere end en faktor 10. Den samme store beregningsmæssige besparelse kan ikke forventes for alle lastkomponenter for en mølle. Det kan dog forventes, at estimerede værdier beregnet ud fra den her foreslåede metode er mere statistisk sikre end simulerede værdier opnået ved aeroelastiske beregninger uden benyttelse af ekstremværdianalyse.

Litteratur

- [1] Davenport, A.G. (1961). The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. Proc. Inst. of Civil Engineers, London, Vol. 19. Paper No. 6480.
- [2] Davenport, A.G. (1964). Note on the Distribution of the Largest Value of a Random Function with Application to Gust Loading. Proc. Inst. of Civil Engineers, London, Vol. 28.
- [3] Dansk Standard DS472 (1992). Dansk Ingeniørforenings og Ingeniør-Sammenslutningens norm for Last og sikkerhed for vindmøllekonstruktioner, 1. udg. Normstyrelsens publikationer NP-209-N. Teknisk Forlag, København.
- [4] Madsen, P.H. (1986). Design Turbulence Loads on Horizontal-Axis Wind Turbines. Risø-M-2581. Risø National Laboratory, Denmark.